EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR PASSFORM METALLENER RESTAURATIONEN AUF EDELMETALLFREIER LEGIERUNGSBASIS UNTER ANWENDUNG VERSCHIEDENER MODELLIER- UND EINBETTVERFAHREN SOWIE EINBETTMATERIALIEN

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades Doktor der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

---

vorgelegt von
Peter Aniol und Wolfgang Wieggrebe
1983

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543915_0045

Aus der Prothetischen Abteilung der Poliklinik
und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
- Westdeutsche Kieferklinik - der Universität
Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. Hermann Böttger

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR PASSFORM METALLENER RESTAURATIONEN AUF EDELMETALLFREIER LEGIERUNGSBASIS UNTER ANWENDUNG VERSCHIEDENER MODELLIER- UND EINBETT-VERFAHREN SOWIE EINBETTMATERIALIEN

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades Doktor der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von
Peter Aniol und Wolfgang Wieggrebe
1983

Gedruckt mit Genehmigung der

Medizinischen Fakultät der

Universität Düsseldorf

Der Dekan

der Medizinischen Fakultät

der Universität Düsseldorf

gez.:

Prof. Dr.

Herbert Theodor Brüster

Referent

gez.:

Prof. Dr. med. dent.

Hermann Böttger

Korreferent

gez.:

Prof. Dr. med. dent.

Walter Weise

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

Peter Aniol

Meiner Mutter in Dankbarkeit gewidmet

Wolfgang Wieggrebe

Inhaltsverzeichnis

Seite

I Einleitung

A Der gegossene Zahnersatz und die Bedeutung der edelmetallfreien (NEM) Legierung 1

B Bedenken und Probleme bei der Verwendung edelmetallfreier Legierungen in der zahnärztlichen Prothetik 5

C Problemdarstellung 9

D Ziel der eigenen Arbeit 13

II Literaturübersicht 14

III Material und Methode

A Prüfkörperherstellung einschließlich der Beschreibung der Versuchsparameter 23

B Vermessung der Prüfkörper 34

C Statistische Auswertung 36

IV Ergebnisse und Diskussion 37

V Zusammenfassung und Ausblick 54

VI Literaturverzeichnis 57

Anhang 63

I Einleitung

A Der gegossene Zahnersatz und die Bedeutung der edelmetallfreien (NEM) Legierung

In der zahnärztlichen Prothetik nimmt der im Gußverfahren hergestellte Zahnersatz eine dominierende Rolle ein. Zu Beginn der Gußtechnik kamen ausschließlich goldhaltige Legierungen zur Anwendung.
Die ersten gegossenen Goldeinlagen wurden 1904 von OLLENDORF (14) hergestellt. Das geschmolzene Gold floß bei diesem Verfahren aufgrund seines Eigengewichtes durch einen Einflußkanal in die Hohlform. Erst dem Amerikaner TAGGART (25) gelang es 1907, Gold so exakt zu gießen, daß die damals verlangte Paßgenauigkeit der Gußstücke erreicht wurde. Er konstruierte als Erster einen brauchbaren Gußapparat, durch den das Gold durch Druck in die Form gepreßt wurde. Die Gußtechnik hat seitdem ständige Verbesserungen erfahren und dürfte heute wohl als Routineverfahren im zahntechnischen Labor und in der Zahnheilkunde bezeichnet werden. Ständige technische Neuentwicklungen der Gußtechnik und Veränderungen in der Zusammensetzung der Legierungen hatten entscheidenden Anteil an dieser Entwicklung.
Auf dem Gebiet der Modellgußprothese, eines herausnehm-

baren Zahnersatzes, verdrängte die Kobalt-Chrom-Legierung das Gold völlig. Im Vergleich zu den damals allgemein verwendeten goldhaltigen Legierungen erwiesen sich die Kobalt-Chrom-Legierungen bei werkstoffkundlichen Untersuchungen als geeigneter.

In den letzten Jahren wurde, hervorgerufen durch wirtschaftliche Zwänge, eine verstärkte Suche nach weiteren Alternativen zur Goldlegierung notwendig. Seit 1969 stieg der Goldpreis unaufhörlich, da der "Gold Reserve Act" in den Vereinigten Staaten fallengelassen wurde. Jener "Act" stammte aus den dreißiger Jahren und schützte den Goldpreis. Dies führte zwangsläufig zu einem enormen Preisanstieg, der sich auch bei den in der Zahnheilkunde verwendeten Edelmetallegierungen, die einen Massenanteil von 80 - 90 % Gold aufwiesen, deutlich bemerkbar machte. Zusätzlich wurde 1974/75 die Prothetik in den Bundesmantelvertrag übernommen. Da jetzt der vom Patienten zu tragende Eigenanteil etwa nur noch ein Fünftel der Gesamtkosten betrug, und sich dadurch eine erhöhte Nachfrage ergab, stellte sich ein rapider Anstieg des Goldverbrauches auf dentalem Sektor ein. Die hieraus folgende Steigerungsrate des Goldverbrauches in der BRD im Zeitraum 1975/76 von etwa 60 % ist im weltweiten Vergleich einzigartig. 25,4 t Gold, die auf nationaler Ebene zur Herstellung prothetischen Zahnersatzes 1980 verarbeitet wurden, stellten etwa 40 %

des gesamten Weltverbrauches dar, mehr als die USA, Frankreich, Schweiz und Japan im gleichen Zeitraum zusammen benötigten.
26 t Gold entsprechen einem Gegenwert von etwa 1,0 Milliarden DM. Der zusätzliche Metallverlust bei der Verarbeitung beträgt etwa 20 % und läßt die Kosten nochmals um einen beträchtlichen Anteil von 200 Millionen ansteigen.
Eine Alternative zu den goldhaltigen Legierungen stellen die NEM-Legierungen (nichtedelmetallhaltigen Legierungen) auf Nickel-Chrom-Basis dar. Ergebnisse einer Studie besagen, daß in den Vereinigten Staaten schon 25 % des festsitzenden oder bedingt festsitzenden Zahnersatzes in einer NEM-Legierung hergestellt wurden. Das Absinken des Goldverbrauches auf dentalem Sektor in den USA in einem Jahr von 21,2 t auf 13,8 t unterstreicht das Ergebnis der oben genannten Studie.
Vorausgesetzt, daß die Herstellung des im Jahre 1980 insgesamt gefertigten Zahnersatzes in einer NEM-Legierung erfolgt wäre, was aus technischen Gründen noch nicht in vollem Umfang möglich ist, so hätte ein Preisvergleich zu den verwendeten goldhaltigen Legierungen eine Einsparung von 500 - 800 Millionen DM erbracht.

Trotz der eben genannten Einschränkung bietet die Verwendung edelmetallfreier Legierungen im Bereich der Kronen- und Brückenprothetik eine gute Möglichkeit, der

in den letzten Jahren in zunehmendem Maße gestellten Forderung nach Kostendämpfung im zahnärztlichen Gesundheitswesen gerecht zu werden (26).

B Bedenken und Probleme bei der Verwendung edelmetallfreier Legierungen in der zahnärztlichen Prothetik

Bei einer kritischen Betrachtung zahnärztlich verwendeter Materialien, insbesondere der Legierungen, stehen biologische, werkstoffkundliche und technologische Aspekte im Vordergrund (3,4).
Die Biokompatibilität der NEM-Legierungen wurde dabei häufig angezweifelt. Neben der allergisierenden Wirkung seien Nickelintoxikation und eine mögliche Kanzerogenität nicht auszuschließen (1).
Der gefährdete Personenkreis erstreckt sich dabei vom Zahntechniker über den Zahnarzt bis zum Patienten, dem ein Zahnersatz aus einer NEM-Legierung eingegliedert wird.
MOFFA (16) konnte anhand einer Studie nachweisen, daß bei vorschriftsmäßiger Handhabung und Verwendung dieses Legierungstyps keine gesundheitliche Gefährdung des Zahntechnikers auftrat. In mehreren Studien wurde die Biokompatibilität der NEM-Legierungen in vitro und vivo getestet (27).
PAULSSEN (19) zeigte anhand von Speichelanalysen, daß sich nach der Inkorporation von Aufbißschienen aus drei verschiedenen NEM-Legierungen zwar eine erhöhte Abgabe von Nickel nachweisen läßt, die gemessenen Werte beweg-

ten sich aber in physiologischen Größenordnungen.
Klinische Nachuntersuchungen jahrelang getragenen Zahnersatzes erbrachten keinen Nachweis einer allergischen oder sogar toxischen Reaktion (26). Selbst die Eingliederung von Testplatten aus Nickel-Chrom und Kobalt-Chrom bei Patienten mit nachgewiesener Nickel- bzw. Chrom-Allergie erzeugte in keinem Fall eine lokalisierte oder generalisierte Reaktion (27).
Diese an der Westdeutschen Kieferklinik gemachten Erfahrungen stehen im Gegensatz zu den in einer Studie von MOFFA (17) geäußerten Bedenken.
Aus den vorher genannten Schwierigkeiten und der in Teilaspekten gegensätzlich geführten Diskussion sind weitere klinische Großtests notwendig, die eine Antwort auf die klinische Brauchbarkeit der NEM-Legierungen geben.
Neben den biologischen Aspekten sind auch die technologischen bei der Verwendung einer Dentallegierung wie Guß, Lötung, Ausarbeitung, Fräsen und Verblenden von großer Bedeutung.
BAUERs (4) statistische Auswertungen einer Befragung von 344 Laboratorien in den USA, die zum damaligen Zeitpunkt regelmäßig NEM-Legierungen verarbeiteten, lassen die signifikanten Probleme und technischen Mängel bei der Verarbeitung sichtbar werden.

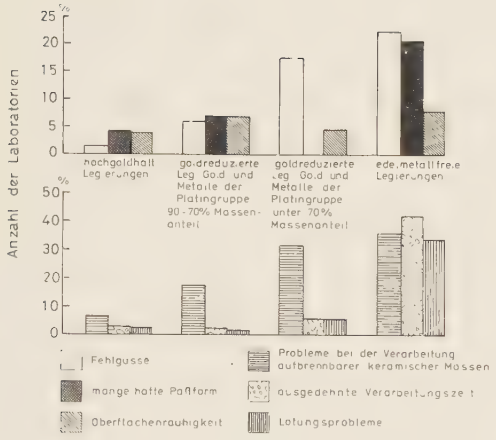

Abb. 1: [modifiziert nach BAUER (4)]
Das Schema verdeutlicht, wie viele der befragten Laboratorien Mängel bei der Verarbeitung verschiedener Legierungstypen angaben. Zu beachten ist dabei der hohe Anteil der mangelhaften Paßform bei der Verwendung edelmetallfreier Legierungen.

Schwierigkeiten, die hier bei der technischen Verarbeitung auftraten und festgestellt wurden, sind durchaus verständlich und sogar zu erwarten gewesen.

So werden bei der Verarbeitung von Nickel-Chrom-Legierungen Geräte bzw. Technologien aus dem Edelmetallbereich angewendet, die aber nicht ohne weiteres auf eine NEM-Legierung übertragbar sind (28). Doch daraus den Rückschluß zu ziehen, daß es sich um ein "falsches Material" handelt, ist nicht richtig. Denn Technologie und arbeitstechnisches Know-how zur Verarbeitung einer NEM-Legierung sind von ganz erheblicher Bedeutung. Der erfolgreiche Umgang mit dieser Legierung setzt zusätzlich eine Schulung und Erfahrungssammlung des Technikers voraus. Darüber hinaus weichen die Zusammensetzungen und folglich die Eigenschaften der einzelnen Nickel-Chrom-Legierungen sehr stark voneinander ab, so daß die Anwendung unterschiedlich gehandhabt werden muß (28).

C Problemdarstellung

Die Funktionstüchtigkeit eines festsitzenden Zahnersatzes in Form von Kronen und Brücken über einen medizinisch und volkswirtschaftlich zu fordernden Zeitraum hinweg wird in entscheidendem Maße von der Okklusion, der Artikulation sowie der klinischen Paßgenauigkeit des Kronenrandes beeinflußt. Ein insuffizienter Kronenrandschluß erweist sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Zahnpflege des Patienten schon bald als Prädilektionsstelle für eine Anlagerung von Plaque, Zahnstein und Konkrementen. Pathologische Veränderungen sowohl des Zahnhalteapparates als auch der überkronten Zahnhartsubstanz in Form von Sekundärkaries sind die Folge. Auf Dauer muß mit irreparabelen Schäden an dem überkronten Zahn gerechnet werden.

Zur Überprüfung der Paßgenauigkeit verfügt der Zahnarzt neben der Kontrolle des Kronenrandes mit Häkchensonde und Röntgenbild, anhand der Überprüfung der Okklusion und Artikulation über ein weiteres aussagekräftiges Kriterium. Eine zu enge, d. h. nicht exakt auf dem beschliffenen Stumpf aufsitzende Krone, erweist sich bei Okklusion und Artikulation als zu hoch bzw. störend für den Patienten.

Es kann dann von einer ausreichenden Paßgenauigkeit gesprochen werden, wenn die beim Gußverfahren durch die

Metallkontraktion bei der Abkühlung der erstarrten Legierung auf Raumtemperatur auftretende Volumenverringerung, die sogenannte "feste Schwindung", kompensiert und zusätzlich ein für den Befestigungszement notwendiger Raum geschaffen wird. Dieser liegt in Abhängigkeit von der Korngröße des Zementes und seiner Verarbeitung in einer Größenordnung von 10 - 25 µm und soll darüber hinaus nicht breiter sein. Somit sind gezielte Übergrößen von Kronen in diesem Bereich anzustreben. Eine Möglichkeit, die Kontraktion des Metalls auszugleichen, sahen frühere Autoren darin, durch eine Wärmevorbehandlung das Volumen des Wachsmodelles zu vergrößern. Diese Methode wurde aber wieder aufgegeben, da das Wachs bei Erwärmung ungleichmäßig expandierte (8).

Eine weitere Möglichkeit zum Ausgleich der Metallkontraktion hat sich im Zusammenhang mit den goldhaltigen Legierungen bewährt und dient als Grundlage heutiger Erkenntnisse. Es ist die Kombination von Abbindeexpansion und thermischer Expansion der Einbettmassen.

Da bei der Verarbeitung edelmetallhaltiger Legierungen mit einer festen Schwindung im Mittel von 1,6 % lin zu rechnen ist, müssen, wie in der ADA Specification No. 2 for casting investment entsprechend gefordert, phosphatgebundene Einbettmassen eine Gesamtexpansion von 1,3 - 2,0 % lin aufweisen.

Im einzelnen beruht dabei die Abbindeexpansion auf der Einlagerung von Kristallwasser und beträgt bis zu 0,5 % lin.

Die thermische Expansion erfolgt in einem Temperaturbereich von 200 - 300° C und führt zu einem sprunghaften Anstieg der Expansion. Dieser beruht auf der Umwandlung des in der α-Modifikation vorliegenden Cristobalits in die β-Form. Ein kleinerer, weniger bedeutender Sprung, erfolgt bei 575° C und ist auf die α-β-Umwandlung des Quarzes zurückzuführen. Eine Steuerung der Gesamtexpansion ist über die Anteile der jeweiligen Stellflüssigkeit, im allgemeinen Kieselsäure, und der zugefügten Menge destillierten Wassers gegeben.

Dieses arbeitstechnische Know-how wurde bei der Verwendung der edelmetallfreien Legierungen übernommen.

Im Vergleich zu den bisher verwendeten hochgoldhaltigen Legierungen verfügen die NEM-Legierungen über ein deutlich höheres Schmelzintervall mit entsprechend höherem Soliduspunkt. Hierdurch bedingt weisen die NEM-Legierungen eine ausgeprägtere feste Schwindung auf, zu deren Ausgleich eine deutlich stärkere Expansion der Einbettmasse nötig ist.

In vielfachen Kritiken wird eine zu geringe Größe bei edelmetallfreien Restaurationen beklagt. Darüber hinaus wird sogar angezweifelt, ob überhaupt eine mit bestehenden Mitteln und Methoden ausreichende Übergröße erzielt

werden kann (7).

D Ziel der eigenen Arbeit

Ziel der eigenen Arbeit ist es, durch die Testung vierer phosphatgebundener Einbettmassen, zweier unterschiedlicher Abbindeverfahren, der Muffeln Größe drei und sechs und dreier verschiedenartiger Modelliermassen, bestehende Materialien und Verfahren im Hinblick auf ihre Eignung für die Verarbeitung edelmetallfreier Legierungen zu untersuchen und daraus resultierend dem an edelmetallfreien Legierungen interessierten Zahntechniker Anleitung und Empfehlung zur Optimierung seines Einbettungsverfahrens geben zu können.

II Literaturübersicht

Die angeführte Literatur wurde nach Gesichtspunkten ausgewählt, die sich aus der Problemdarstellung der vorliegenden Arbeit ergeben.
Für die klinische Paßgenauigkeit von Kronen und Brükken ist den chemischen und physikalischen Vorgängen bei der Abbindeexpansion von Einbettmassen ausschlaggebende Bedeutung beizumessen.
Es standen zwei Möglichkeiten der Abbindereaktion zur Wahl:

a) die normale Abbindeexpansion

b) die hygrothermische Abbindeexpansion

Die Ausgangsexpansion von Einbettmassen, angemischt mit destilliertem Wasser, ist bei jedem Fabrikat anders. Die Inhaltsstoffe weisen unterschiedliche Korngrößen und Zusammensetzungen des Binders auf. So sind die Massen von Fabrikat zu Fabrikat unterschiedlich eingestellt. Wesentlich für die Expansion sind die Strukturveränderungen im höheren Temperaturbereich beim Aufheizen sowie die chemischen Reaktionen, die beim Abbinden ablaufen. Schon während des normalen Abbin-

dens vergrößert die angemischte Masse ihr Volumen. Der Einfluß durch unterschiedliche Raumtemperatur- oder Luftfeuchtigkeitswerte ist nur schwer zu kontrollieren. Bei der hygrothermischen Abbindung wird die Muffel sofort nach dem Einfüllen in 37° C warmes Wasser gestellt. Durch dieses Verfahren ist ein gleichmäßiger Ablauf der chemischen Reaktion gewährleistet.
Bei Zutritt von Wasser findet nach bisheriger Auffassung folgende Reaktion unter Erwärmung der Muffel statt (29):

$NH_2H_2PO_4$	+	MgO	+	5 H_2O	___	$MgNH_4PO_4$ +	6 H_2O
Monoammonium-		Magnesium-		Wasser		Magnesium-	Wasser
phosphat		oxid				ammonium-	
						phosphat	

SCHEU (23) hat 1932 die Faktoren, die eine hygroskopische Abbindereaktion beeinflussen, erstmals für gipsgebundene Einbettmassen beschrieben. Im Laufe der Zeit haben eine Reihe von Autoren zu diesem Thema Untersuchungen veröffentlicht.

SKINNER (24) stellte in "The Science of Dental Materials" fest, daß die hygroskopische Abbindung bis zu sechsmal größer sein kann als die normale Abbindung.

1. Die Größe der hygroskopischen Expansion ist abhängig von den Mengenanteilen der Silikate

2. Je feiner die Partikel, desto größer die Expansion

3. α-Hemihydrate produzieren eine größere hygroskopische Expansion in Gegenwart von Silikaten als β-Hemihydrate

4. Je größer das Verhältnis Wasser/Pulver ist, desto geringer ist die Expansion

5. Eine verkürzte Anrührzeit der Einbettmasse verringert die hygroskopische Expansion

6. Die Größe der Expansion ist während der Abbindephase bis zum initialen Punkt direkt abhängig von der zugeteilten Menge des Wassers und kann somit durch die Wasserzugabe kontrolliert werden

Dem hingegen kamen BEECK (5) 1958 und MAHLER (15) 1965 zu dem Ergebnis, daß die Auswirkungen der hygroskopischen Einbettung im wesentlichen auf der Expansion des verwendeten Wachses beruhen.
MAHLER variierte bei seinen Untersuchungen die Eintauchtiefe der Muffel und dabei stellte sich heraus, daß der

Einfluß der Eintauchtiefe (hygroskopisch oder normal) unter der statistischen Bedeutung lag.
Eine schrittweise Erhöhung der Temperatur von 20° C bis 40° C führte jedoch zu einer deutlich stärkeren Expansion in beide Richtungen.
BEECK (5) hingegen benutzte bei seinen Reihenuntersuchungen zwei gleich große aus Stahl und Wachs hergestellte Prüfkörper. Diese Prüfkörper wurden sowohl in einer Kerneinbettung als auch hygroskopisch eingebettet. Bei der hygroskopischen Technik variierte BEECK zusätzlich den Zeitpunkt des Eintauchens der Gußmuffel in das Wasserbad. BEECK stellte dabei fest, daß sich die Einbettmasse bei den Versuchen im hygroskopischen Verfahren mit den Stahlprüfkörpern im Gegensatz zu den Wachsprüfkörpern nicht verändert.
Dies bedeutete, daß das Wachs noch die Möglichkeit hatte, sich auszudehnen, da die Muffel frühzeitig - also noch während die Einbettmasse weich war - in das Wasserbad gesetzt wurde.
Die hygroskopische Einbettung nach SCHEU beeinflußt die Wachsform im Sinne einer thermischen Expansion.
GEORG M. MUMFORD (18) und RALPH PHILLIPS entwickelten eine Meßmethode, die es erlaubte, die thermische Expansion von Einbettmassen und Gußringen zu messen. Die thermische Expansion ist durch den Muffelring eingeschränkt. Mit einer Vlieseinlage aus Asbest beträgt die

Expansion der Cristobalit-Einbettmasse in der Ausdehnung nur 0,5 % in bestimmten Bereichen.
Die Ausdehnung ist jedoch erheblich größer, dort wo die Einbettmasse nicht direkt am Muffelring anliegt. Die Position des Gußobjektes hat keinen Einfluß auf die thermische Expansion.
Der Gebrauch von Quarz-Kontrollpulver beeinflußt die Einbettmasse nur in den Bereichen, wo sie frei expandieren kann.
In einer Veröffentlichung stellte PHILLIPS (20) fest, daß die verwendete Einbettmasse Wachsverformungen bei einer Abbindeexpansion über 0,06 % auslöst.
Die Verformung beginnt eine Minute nach der Initialabbindung und erreicht ihren Höhepunkt innerhalb einer Stunde.
Auch FUSAYAMA (9) untersuchte die Zusammenhänge zwischen den Dimensionsänderungen des Wachses und der Expansion von Einbettmassen beim Abbindevorgang. Er stellte bei seinen Untersuchungen folgende Ergebnisse fest:

1. Die Kontraktion des Wachses während der a) Erstarrung sowie b) der Abkühlung beeinflußt die Paßgenauigkeit ebenso wie

2. die Differenz zwischen der Abbindeexpansion der Einbettmasse und der Expansion des Wachses bei der Er-

wärmung.

3. Die Gußschrumpfung des Metalles variiert in Abhängigkeit von Form und Größe der Gußform.

4. Bei Messung der Prüfkörper muß die Oberflächenrauhigkeit mit in Betracht gezogen werden, genauso wie

5. der erforderliche Zementspalt der klinischen Restaurationen.

6. Laut FUSAYAMA ist eine Abbindeexpansion von 0,05 % bei Wachsmodellationen anzustreben.

7. Er spricht sich gegen die hygroskopische Methode aus und stellt fest, daß eine 2,0 mm dicke Asbesteinlage (mit Kakaobutter isoliert) adäquat für eine Einbettmasse mit 2,0 % Gesamtexpansion in einer Muffel Größe 3 ist.

In Untersuchungen von ANSKE (2) in Berlin wurde auf eine sich in der Abbindephase befindlichen Einbettmasse eine geringe zusätzliche Menge einer wässerigen Eosinlösung geträufelt. Nach bestimmten Zeitintervallen wurde dann die Eindringtiefe dieser Lösung gemessen. Dabei wurde die Einbettmasse in Teilsegmente zerlegt.

Hierbei stellte sich heraus, daß eine gleichmäßige Durchdringung der noch nicht abgebundenen Einbettmasse durch das nachträglich zugeführte Wasser nicht erfolgte. Als Ergebnis dieser Untersuchungen mußte angenommen werden, daß mit dieser Methode kein gleichmäßiger hygroskopischer Effekt erzielt werden konnte.
HEHRING (12) stellte zu der hygroskopischen Methode folgendes fest:
Die hygroskopische Methode läßt im Augenblick des Gusses nicht die nach SCHEU zu erwartende zusätzliche Expansion der Einbettungsmasse erkennen. Sie beeinflußt aber die Wachsform im Sinne der thermischen Expansion. Dadurch wird zwar ein vergrößertes, aber auch verzerrtes Gußstück erzielt.
Die hygroskopische Methode nach SCHEU kann deshalb nicht mehr empfohlen werden.

GERLACH (11) ermittelte aus zahlreichen Versuchen, daß überschüssiges Wasser eine bedenkliche Kontraktion der Einbettmasse beim Erhitzen zur Folge hatte. Nach Versuchsergebnissen HEHRINGs zu urteilen, geht die durch erhöhte Wasseraufnahme gewonnene Expansion der Einbettmasse im Gegensatz zu SCHEU beim Vorwärmprozeß wieder verloren.

Von DEREK W. JONES und H. J. WILSON (13) wurden Abbinde- und hygroskopische Expansion von Gips- und Phosphateinbettungsmassen unter fünf verschiedenen Bedingungen untersucht:

1. Mit Muffelring
2. Ohne jegliche Begrenzung
3. Mit Asbestauskleidung
4. Mit Asbestauskleidung in 21° C Wasser
5. Ohne jegliche Begrenzung in 39° C Wasser

Je nach Methode wurden unterschiedliche Expansionen erreicht. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer exakten technischen Verfahrensweise beim Gebrauch dieser Einbettmassen, um fehlerhafte Resultate zu vermeiden. Weiterhin zeigten die eben genannten Untersuchungen, daß eine ungehindert ablaufende Abbindeexpansion von Einbettmassen sehr hohe Werte erreicht und dabei Risse in der Einbettmasse auftreten können.
Ummantelungen der Einbettmasse hingegen schränkten die ungehinderte Expansion schon in der Frühphase der Abbindung ein.

Grundsätzlich wurden durch die hygroskopische Einbettungsmethode phosphatgebundene Einbettmassen stärker beeinflußt als gipsgebundene.

In einer Studie von GEORGE EDEN (7) wurde die Paßgenauigkeit von Ni-Cr-Legierungen im Vergleich zu edelmetallhaltigen Restaurationen untersucht. Sämtliche Prüfkörper wurden auf genormten konusartigen Stahlkörpern hergestellt.
Ein Teil der Gußkörper wurde in gewerblichen Laboratorien, der andere Teil am National Bureau of Standards mit einer modifizierten Einbettmethode sowie nach einem festen Gußverfahren hergestellt.

1. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, daß in gewerblichen Labors gefertigte Ni-Cr-Gußkörper durchweg Untergrößen aufweisen, im Gegensatz zu den produzierten Übergrößen im Edelmetallbereich.

2. Eine modifizierte Einbettmethode - Handanmischung der Einbettmasse, der Gebrauch von nachgiebigeren und dickeren Muffelauskleidungen, eine hygrothermische Einbettung - erlaubt eine routinemäßige Produktion von Gußkörpern mit erwünschter Übergröße einer großen Gruppe von Ni-Cr-Legierungen.

3. Der Durchmesser des Gußkörpers ist abhängig vom Schmelzpunkt der Legierung, da der Gußdurchmesser linear zum abnehmenden Schmelzpunkt - unter festen Gußbedingungen - geringer wird.

III Material und Methode

A Prüfkörperherstellung einschließlich der Beschreibung der Versuchsparameter

Zur Herstellung der Prüfkörpermodelle wurden drei im Aufbau identische Prüfkörperformer aus Atomstahl mit den in Abbildung 2 angegebenen Maßen auf einer Drehbank angefertigt. Der Prüfkörperformer setzte sich aus folgenden Einzelteilen zusammen:

1. Prüfkörperformsockel (A) mit konischem Stumpf (Fräswinkel 3°, Durchmesser oberhalb der Markierungsrille ≈ 10 mm → für die drei für diese Untersuchungen verwendeten Prüfkörperformer wurde dieser Wert auf 1 µm genau bestimmt)
2. Unterer Trennungsring (B)
3. Prüfkörperformring (3) mit konischer Fräsung
4. Abschlußkappe (D) mit Abflußmöglichkeit für überschüssiges Material
5. Stahlzylinder (E)
6. Ansatzvorrichtung für Markierungselement (F)

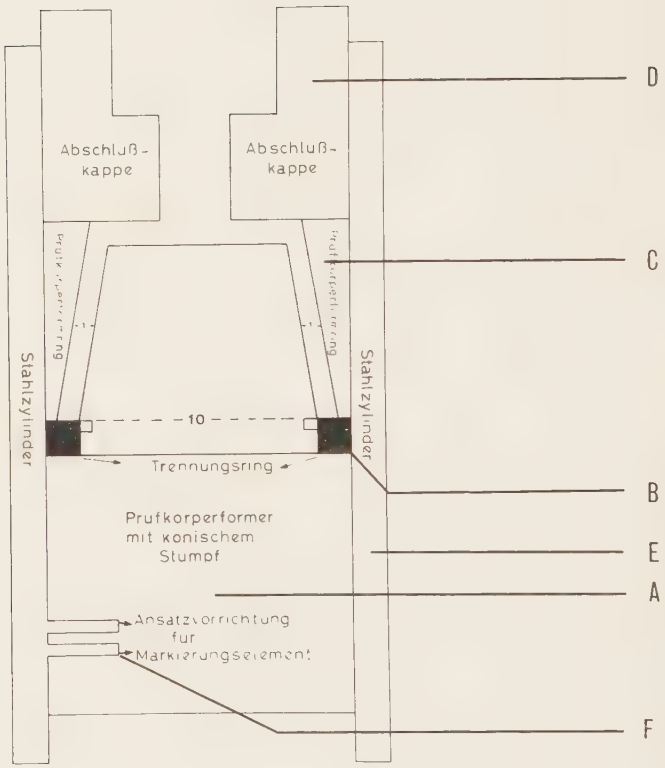

Abb. 2: Prüfkörperformer

Zusammengesetzt bilden die Einzelteile A - D einen Hohlraum, der in seiner Form einer Konuskrone entsprach und zur Anfertigung der Prüfkörper diente.

Der Hohlraum bzw. Prüfkörper wies allseits eine Wanddicke von einem Millimeter auf. Der oberhalb der Markierungsrille gemessene Durchmesser des konischen Stumpfes betrug beim Prüfkörperformer

Nr. 1 9,949 mm
Nr. 2 9,942 mm
Nr. 3 9,937 mm

Die exakte Bestimmung des Durchmessers der Prüfkörperformer sowie sämtlicher 288 Prüfkörper erfolgte nach einer einheitlichen, im Kapitel Vermessung der Prüfkörper beschriebenen, Methode.

Versuchsplanung

Der Versuchsaufbau der praktischen Einbettungsversuche läßt sich aus dem nachfolgenden Schema aller untersuchten Parameter (am Beispiel der Einbettmasse BegoRal) ableiten.

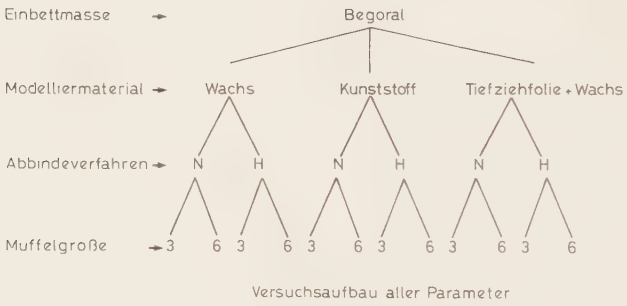

Abb. 3: Versuchsreihenaufbau

Neben der im Schema angegebenen Einbettmasse BegoRal wurden die Massen Deguvest HFG, High-Span und Rema-Exakt verwendet.

Dieser Versuchsaufbau ließ eine Einteilung der Prüfkörper in 48 verschiedene Prüfkörperserien zu. Um eine statistische Aussage treffen zu können, setzte sich jede Prüfkörperserie aus 6 Prüfkörpern zusammen.

Folgende vier phosphatgebundene Einbettmassen wurden im Rahmen dieser Studie untersucht:

1. BegoRal
2. Deguvest HFG
3. High-Span
4. Rema-Exakt

Die Herstellung der Prüfkörpermodelle erfolgte in den drei Materialien:

1. mittelhartes Wachs (Ney)
2. Paladur (kalthärtender Kunststoff)
3. Kunststofftiefziehfolien (Bego),
   Prüfkörperrand Gründlerwachs,
   Außenwände mittelhartes Wachs (Ney)

Herstellung der Prüfkörpermodelle aus Wachs bzw. Kunststoff.
Bei der Fertigung der Prüfkörpermodelle aus Kunststoff oder Wachs wurde flüssiges Wachs bzw. flüssiges Paladur unter Vermeidung von Lufteinschlüssen in den zusammengesetzten Prüfkörperformer von oben eingefüllt, die Abschlußkappe (D) aufgesetzt und eventuell auftretender Überschuß abgepreßt.

Herstellung der Prüfkörpermodelle aus einer Tiefziehfolie und Wachs

Auf den Stumpf der Prüfkörperformer wurde ein Kunststoffkäppchen ohne Platzhalterfolie tiefgezogen, der Rand der Folie mit einer Schere eingekürzt und in Gründlerwachs auf dem Stumpf dargestellt. Anschließend erfolgte die weitere Wachsmodellation mit mittelhartem Wachs nach dem im vorstehenden Abschnitt beschriebenen Verfahren.
Mit Hilfe eines Markierungselementes wurden die aus Wachs bzw. Tiefziehfolie und Wachs hergestellten Prüfkörpermodelle mit einer Strichmarkierung versehen und somit eine einheitliche Richtung beim Abziehen der Modelle vom Prüfkörperformerstumpf festgelegt. Beim späteren Vermessen der Prüfkörper konnte eine Verformung der Modelle, durch das Abziehen bedingt, direkt festgestellt werden.

Die Prüfkörpermodelle wurden mit einem Gußstift von drei Millimetern Durchmesser versehen, der gleichzeitig als zusätzliches Schmelzreservoir diente.
Die Oberflächenentspannung der Wachsmodelle erfolgte mit Waxit.
Pro Versuchstag wurden zwölf Prüfkörpermodelle aus einem der drei Modelliermaterialien angefertigt und nachfolgend

einheitlich sechs in einer Serie entweder in eine mit einer Lage Asbestpappe ausgekleideten 3er-Muffel oder 6er-Muffel eingebettet. Die Verarbeitung der Einbettmasse erfolgte nach den Angaben der Hersteller.
Die Stellflüssigkeit der Einbettmasse High-Span wurde mit 25 Volumenanteilen Wasser verdünnt, die der Einbettmassen BegoRal und Deguvest HFG unverdünnt verarbeitet. Bei Rema-Exakt wurde Wasser verwendet.
Die Anmischzeit in einem Vakuumgerät betrug für alle vier Einbettmassen einheitlich eine Minute.

Für alle 48 Prüfkörperserien erfolgte der Abbindeprozeß der Einbettmassen wechselweise im sogenannten bench-setting-Verfahren oder im temperaturkontrollierten (37° C) Wasserbad.
Dieses empirisch entwickelte Verfahren, welches im anglo-amerikanischen Schrifttum als hygroskopische Abbindung bezeichnet wird, sollte aufgrund des dabei teilweise noch ungeklärten Funktionsablaufes eher als hygrothermische Abbindung angesprochen werden - was auch im weiteren Text geschieht.

Nach dem Abbinden wurden die Muffeln in einen Vorwärmofen gestellt. Das Aufheizen auf die benötigte Gußtemperatur von 950° C bei den Einbettmassen Deguvest, BegoRal und High-Span, bzw. 1050° C bei Rema-Exakt, erfolgte

innerhalb von vier Stunden.

Nach einer Stunde konstant gehaltener Gußtemperatur wurde die NEM-Legierung Wiron 77 mit einer induktiv arbeitenden Hochfrequenzschleuder vergossen. Für jeden Guß wurden neue Gußwürfel benutzt.
Der Grund für die Verwendung von Wiron 77 liegt darin, daß zum einen dieses Material durch das Zusammenfließen der Gußwürfel den Gußzeitpunkt gut erkennen läßt und zum anderen die Fließfähigkeit (Vergießbarkeit) ausgezeichnet ist.
Nach erfolgtem Guß und Abkühlen der Muffel auf Raumtemperatur wurden die Prüfkörper ausgebettet. Die weitere Ausarbeitung beschränkte sich auf das Abstrahlen der Gußobjekte sowie Abtrennen der Gußstifte. Eine Durchnumerierung sämtlicher Prüfkörper von 1 - 288 gewährleistete zu jedem Zeitpunkt der Herstellung eine eindeutige Zuordnung des einzelnen Prüfkörpers zu seinem betreffenden Prüfkörperformer.

Herstellung der Prüfkörper

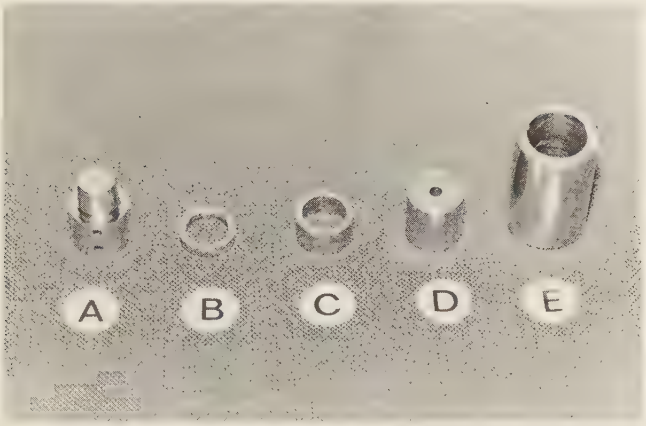

Abb. 4: Einzelteile des Prüfkörperformers

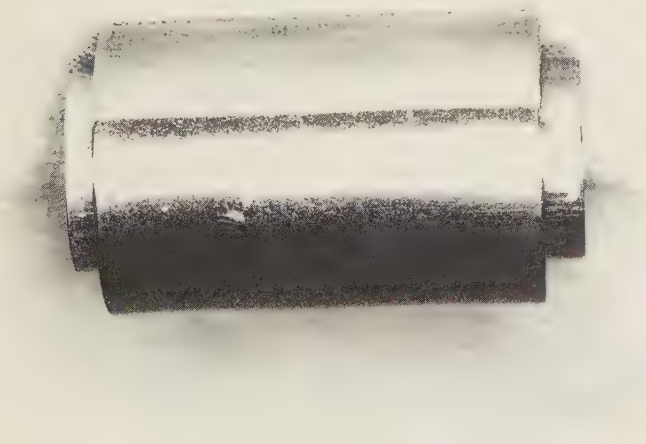

Abb. 5: Prüfkörperformer zusammengesetzt

Abb. 6: Prüfkörper in Wachs modelliert

Abb. 7: Prüfkörpermodell aufgesockelt

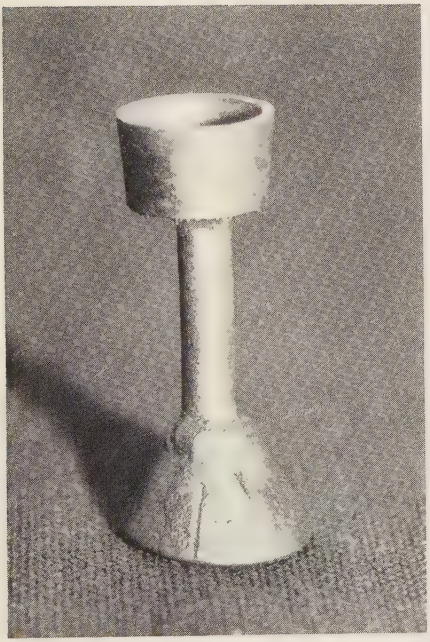

Abb. 8: Gegossener Prüfkörper

B Vermessung der Prüfkörper

Als Meßstrecke wurde der in Abbildung 2 gekennzeichnete Durchmesser des Stumpfes oberhalb der Markierungsrille gewählt. Zur Kontrolle der Meßgenauigkeit erfolgte eine zweimalige Bestimmung des Durchmessers, dabei wurde der Ring um 90° gedreht.
Nach diesem Verfahren wurde der Innendurchmesser sämtlicher 288 Prüfkörper bestimmt. Jedes Meßergebnis stellte somit den Mittelwert zweier Einzelmessungen dar.

Der ABBEsche Komparator

Der ABBEsche Komparator besteht aus zwei, seitlich fest miteinander verbundenen, baugleichen Mikroskopen mit Lupenvergrößerung (10fach); mit diesem Gerät können nach der Differenzmeßmethode Längen kleinerer Proben auf ein µm genau bestimmt werden. Der beiden Mikroskopen gemeinsame Meßtisch ist als beweglicher Schlitten angebracht und besitzt auf der linken Seite eine Probenhalterung und auf der rechten Seite einen Maßstab zur Längenmessung. Wird eine zu messende Probe eingesetzt, so können durch seitliches Verschieben des Meßtisches mit Hilfe einer im linken Mikroskop angebrachten Visiereinrichtung Meßpunkte erfaßt werden; im rech-

ten (baugleichen) Mikroskop sind dazugehörige Zahlen auf einer Meßskala abzulesen. Die Differenz zwischen zwei abgelesenen Zahlenwerten ergibt die absolute Länge (Strecke) zwischen den Meßpunkten.

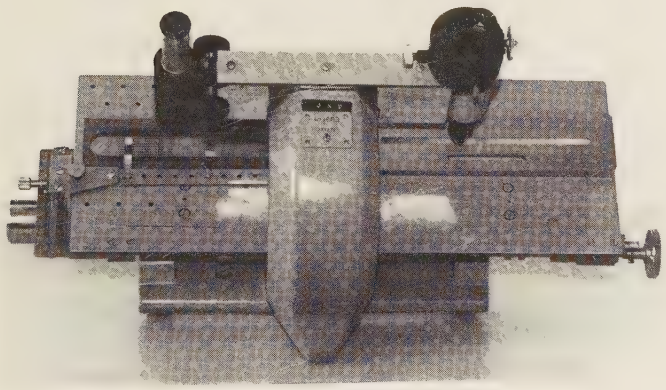

Abb. 9: ABBEscher Komparator

C Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit den Computerprogrammen BMDP und SPSS. Für alle 48 Prüfkörperserien wurden, wie Abbildung 10 und 11 zeigen, der relative Mittelwert bestimmt. Vom Mittelwert aus wurde die Standardabweichung jeweils nach oben und unten abgetragen. Durch eine vierfaktorielle Varianzanalyse wurde der Einfluß der Parameter: Einbettmasse, Modelliermaterial, Abbindeverfahren, Muffelgröße auf die Paßform der Prüfkörper ermittelt.
Für jede Einbettmasse erfolgte zusätzlich eine dreifaktorielle Varianzanalyse, da sich die Einbettmassen in ihrer Zusammensetzung erheblich unterscheiden.
Anschließend wurde versucht, mit Hilfe des NEWMAN-KEULS-Tests (Abb. 11) zwischen den Behandlungskombinationen weiter zu differenzieren.

IV Ergebnisse und Diskussion

Aus dem Versuchsreihenaufbau ergibt sich, daß viele Faktoren Einfluß auf den Durchmesser der Prüfkörper haben können. Um diese Annahme zu verifizieren, wurde mit Hilfe statistischer Varianzanalysen der Einfluß dieser Parameter sowie deren Wechselwirkungen auf ihre Signifikanz hin überprüft.

1. Modelliermaterial (M)
2. Muffelgröße (G)
3. Einbettverfahren (V)
4. Wechselwirkung: Modelliermat./Muffelgröße (MG)
5. Wechselwirkung: Modelliermat./Einbettverf. (MV)
6. Wechselwirkung: Muffelgröße/Einbettverf. (GV)
7. Wechselwirkung: Modelliermat./Muffelgr./Einbettverf. (MGV)

Anhand der statistischen Auswertung zeigt sich, daß nur die Parameter oder Parameterwechselwirkungen mit einem errechneten Wert $\leq$ 0,05 relevant für die Paßgenauigkeit sein können. Tabelle 1 zeigt den Einfluß für die vier untersuchten Einbettmassen mit jeweils unterschiedlichen Kombinationen von Parametern.

		BegoRal	Deguvest	High-Span	Rema-Exakt
Modelliermaterial	(M)	0,2435	0,0000	0,0000	0,0000
Muffelgröße	(G)	0,6905	0,0016	0,0000	0,4134
Einbettungsverfahren	(V)	0,0178	0,0004	0,3473	0,3215
Wechselwirkungen:	MG	0,0562	0,0007	0,0019	0,0001
	MV	0,0173	0,0105	0,1848	0,3731
	GV	0,3714	0,3422	0,8504	0,1753
	MGV	0,1112	0,9819	0,0000	0,3464

Tabelle 1: Varianzanalyse aller untersuchten Parameter.
Relevant sind die Werte ≤ 0,05

Die fertigen Prüfkörper wurden nach der in Kapitel III beschriebenen Methode gemessen.
Abbildung 10 zeigt sowohl die mittlere relative Abweichung der Prüfkörper vom Originalprüfkörperformer als auch die nach oben und unten abgetragene einfache Standardabweichung vom Mittelwert.

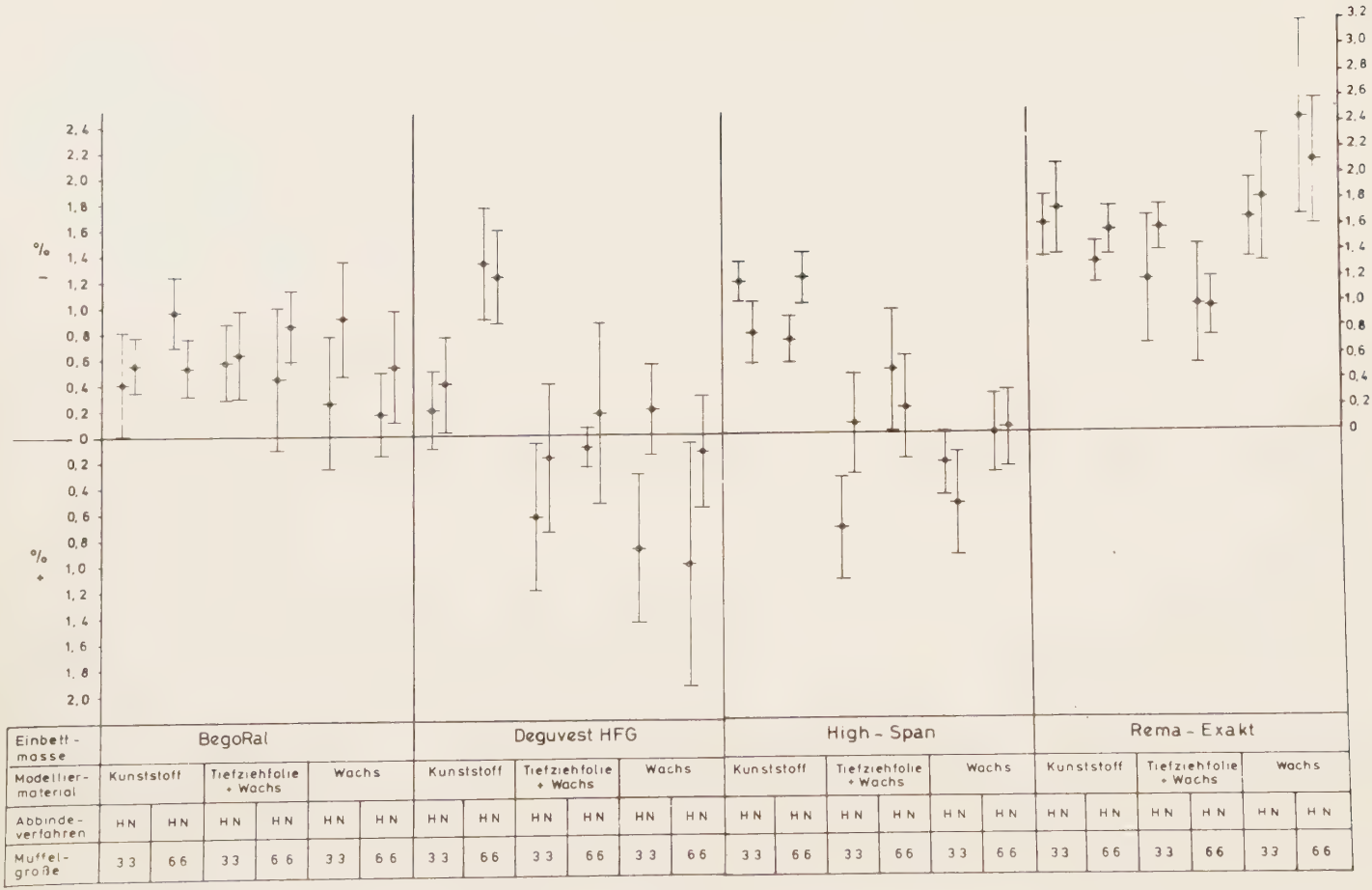

Abb. 10: Mittlere relative Abweichung der Prüfkörper vom Originalprüfkörperformer geordnet nach Versuchsbedingungen.
H = hygrothermische Abbindung; N = Normalabbindung (bench-setting)

1. BegoRal

Für alle ermittelten Prüfkörpermittelwerte sind Untergrößen im Vergleich mit dem Prüfkörperformer festzustellen.
Wie aus Tabelle 1 zu erkennen ist, fallen bei dieser Einbettmasse hauptsächlich zwei Parameter ins Gewicht:

Einbettverfahren (V)
Wechselwirkung Modelliermat./Einbettverf. (MV)

Es kann festgestellt werden, daß die mit der hygrothermischen Einbettmethode hergestellten Formen eindeutig bessere Ergebnisse erzielten. Diese betrugen je nach Parameter (MV) 0,06 bis 0,66 % im Vergleich zur normalen Abbindung.
Einzige Ausnahme bildete die Versuchsanordnung Kunststoff/Muffelgröße 6, wo die normale Abbindung (benchsetting) eine 0,38 %ig bessere Paßgenauigkeit ergab.
Obwohl das Modelliermaterial allein keinen Einfluß auf die Paßgenauigkeit hatte, zeigte sich in Verbindung mit dem Einbettverfahren, daß sich für Wachs in hygrothermischer Abbindung im Mittel die größeren Gußobjekte erzielen lassen. Der NEWMAN-KEULS-Test (Abb. 11) zeigt eine signifikant exaktere Paßform bei der Prüfkörperserie Wachs/hygrothermisch, wo hingegen Tiefzieh/normal als

auch o. g. Ausnahme die schlechtesten Werte zeigten.

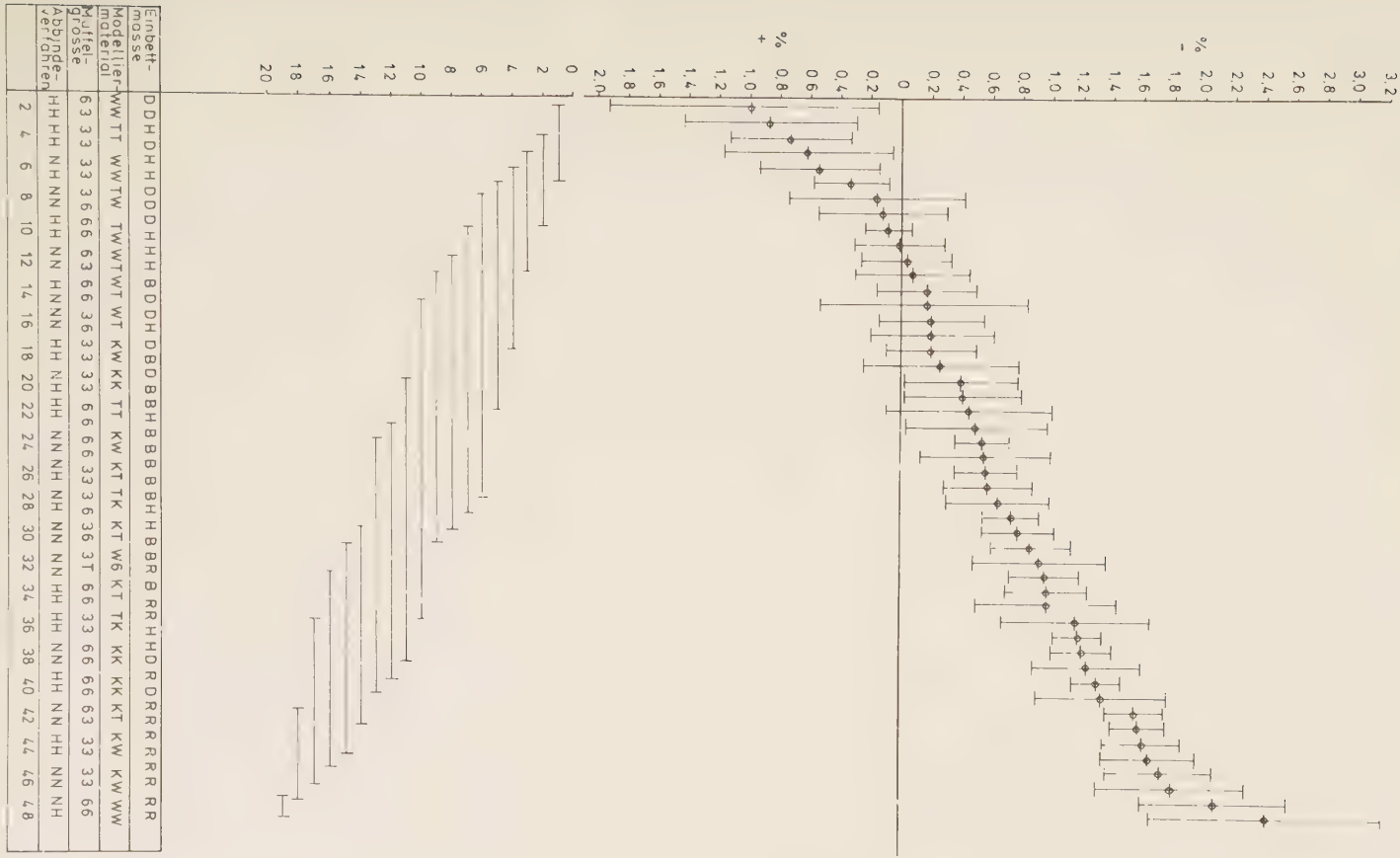

Abb. 11: NEWMAN-KEULS-Test. Mittlere relative Abweichung der Prüfkörper vom Originalprüfkörperformer geordnet nach Mittelwerten. Die sich überschneidenden waagerechten Balken bezeichnen diejenigen Behandlungskombinationen, zwischen denen der NEWMAN-KEULS-Test nicht unterscheidet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt 5 %.

Im Vergleich mit den drei anderen Einbettmassen fällt hier ein relativ einheitlicher Meßwertspiegel der Mittelwerte auf. Auch der Betrag der Standardabweichung ist recht gering, was für eine gute Reproduzierbarkeit spricht.

2. Deguvest HFG

Bei dieser Einbettmasse wurden starke Unter- und Übergrößen ermittelt. Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, daß hier viele Parameter (1. Modelliermaterial, 2. Muffelgröße, 3. Einbettverfahren, 4. Wechselwirkung Modelliermaterial/Muffelgröße, 5. Wechselwirkung Modelliermaterial/Einbettverfahren) auf die Paßgenauigkeit einwirken. Auch bei Deguvest sind signifikant größere Prüfkörper mit der hygrothermischen Methode erreicht worden; die Differenz der Mittelwerte betrug zwischen 0,2 - 1,08 % je nach Versuchsreihe. Auffällig ist auch hier die Versuchsreihe Kunststoff/Muffelgröße 6, welche sich sowohl bei hygrothermischer Abbindung als auch beim bench-setting als negativer Ausreißer zeigt. Der Durchmesser der Untergröße betrug hier bis zu 134 µm. Die in Muffelgröße 3 gefertigten Prüfkörper erzielten - bezogen auf das jeweilige Modelliermaterial - bis auf eine Ausnahme (Wachs/normal) durchschnittlich größere Formen.
Signifikant ist auch das Ausmaß der Übergrößen bei den Versuchsreihen Wachs/hygrothermisch als auch der große Betrag der Standardabweichung, worauf an späterer Stelle noch eingegangen werden muß.
Gravierend ist die große Streubreite der ausgewiesenen Werte, die wohl auf die große Auswahl der beeinflussenden Parameter zurückzuführen ist.

3. High-Span

Die Auswertung der Tabelle 1 zeigt eine Beeinflussung der Paßform durch die Parameter Modelliermaterial, Muffelgröße sowie Wechselwirkung Modelliermaterial/Muffelgröße und Wechselwirkung Modelliermaterial/Muffelgröße/Einbettverfahren.
Als augenfälligstes Merkmal dieser Gruppe ist eine deutliche Untergröße der vier Versuchsreihen mit dem Modelliermaterial Kunststoff festzustellen.
Eine Beurteilung der Abbildung 10 sowie des NEWMAN-KEULS-Tests ergibt eindeutig die zunehmende Paßgenauigkeit der Gußobjekte in folgender Rangfolge der Modelliermaterialien:

Kunststoff - - Tiefziehfolie - - Wachs

Bei der Muffelgröße läßt sich, bezogen auf das Modelliermaterial, eine Tendenz zugunsten der Größe 3 konstatieren.
Beachtenswert ist auch hier die erhebliche Meßwertdifferenz der Modelliermaterialien untereinander; sie betrug bis zu 1,96 % bezogen auf den Prüfkörperformer.
Die Betrachtung der Abbindemethode zeigt Vorzüge sowohl der hygrothermischen als auch der normalen Einbettung.
Nur bei der Einbettmasse High-Span tritt der Parameter Wechselwirkung Modelliermaterial/Muffelgröße/Einbettver-

fahren maßgebend auf die Paßgenauigkeit in Erscheinung. Hiermit lassen sich wohl auch teilweise die großen Schwankungen im Meßwertniveau erklären.

4. Rema-Exakt

Hier zeigt sich ein beachtenswertes Feld von Untergrößen aller hergestellten Gußobjekte.
Der Meßwertspiegel ist relativ einheitlich und auch die Standardabweichung ist recht gering.
Es spielen auch nur zwei Parameter eine Rolle:

Modelliermaterial (M)
Wechselwirkung Modelliermaterial/Muffelgröße (MG)

Entgegen allen anderen Einbettmassen weisen hier die Prüfkörper aus Wachs die prozentual schlechtesten Werte auf, teilweise bis zu 2,42 % Untergröße.
Die mit Kunststoff und Tiefziehfolie in Muffelgröße 6 hergestellten Formen zeigen noch die relativ geringsten Untergrößen bei dieser Einbettmasse.
Alle weiteren Parameter lassen keine einheitliche Deutung zu.

Im Vergleich der Einbettmassen zueinander lassen sich zu den Auswirkungen der verschiedenen Parameter folgende Aussagen machen:

1. Die mittels hygrothermischer Abbindung hergestellten Prüfkörper erzielten bis auf die angeführten Ausnahmen durchweg eine größere Annäherung an die klinisch angestrebte Paßgenauigkeit bei allen vier Einbettmassen. Dies führt jedoch bei einigen wenigen Versuchsreihen (z. B. Deguvest HFG/Wachs Muffelgröße 3/6) zu Übergrößen, die erheblich über der von der ADA-Specification for casting investments No. 8 geforderten Zementspaltbreite von 15 - 25 µm lagen. Der Spalt für den Befestigungszement hätte hier 50 µm und mehr betragen, was in Anbetracht der Löslichkeit des Zementes, welche mit der dritten Potenz der Spaltbreite zunimmt, eine unerwünschte Übergröße darstellt. Von verschiedenen Autoren ist die hygrothermische Methode untersucht worden. Es hat sich unter anderem gezeigt, daß gerade phosphatgebundene Einbettmassen in hohem Maße auf die hygrothermische Abbindung reagieren (13).
Dies kann jedoch durch eine mehr oder weniger starke Ummantelung gesteuert und eingeschränkt werden (13).

2. Das Modelliermaterial Wachs zeigte bis auf die Werte der Einbettmasse Rema-Exakt allgemein die besten Ergebnisse. Kunststoff hingegen erwies sich mehr oder minder als negativer Ausreißer durch alle Versuchsreihen. Gußobjekte aus Tiefziehfolie hergestellt, lagen bis auf einige sehr gute Werte zwischen den beiden anderen Materialien.

Dies zeigt den großen Einfluß des Modelliermaterials auf die Paßgenauigkeit der Gußkörper.
Die plastischen Eigenschaften der in der Zahntechnik verwendeten Wachse kommen der hygrothermischen Expansion sehr entgegen. Wie FUSAYAMA (10) 1958 festgestellt hat, sollte jedoch darauf geachtet werden, daß die Dimensionsänderungen von Wachs und der jeweiligen Einbettmasse korrelieren, da es sonst zu unkontrollierbaren Distorsionen der Wachsformen führen kann. Auch andere Untersuchungen von BEECK und DREYER (5 und 6) 1958 zeigen, daß Wachs ein sehr unbeständiges, labiles Material ist, das jedoch aufgrund der einfachen technischen Handhabung von den Laboratorien fast ausschließlich benutzt wird.
Die größere Standardabweichung bei den aus Wachs hergestellten Prüfkörperserien zeigt die relativ weite Streuung der Einzelwerte und somit primär eine schlechte Reproduzierbarkeit der Prüfkörper. Dazu führt REITHER (21) in seinen Untersuchungen aus:

Entscheidend für das Paßvermögen der einzelnen Kronen ist die Streuung der individuellen Werte pro Versuchsreihe, denn diese entscheiden nicht nur über die Formtreue, sondern auch darüber, ob die Präzision eines Verfahrens noch gesteigert werden kann.
Die signifikanten Untergrößen bei den aus Kunststoff hergestellten Prüfkörpern, sowohl beim bench-setting als auch bei der hygrothermischen Abbindung, sind zum einen wahrscheinlich auf die relativ starren Eigenschaften des Materials zurückzuführen. Warum die Durchmesser der Prüfkörper teilweise so gravierend klein ausfallen, konnte nicht geklärt werden. Die Materialeigenschaften von Tiefziehfolie/Wachs liegen zwischen den beiden anderen Modelliermaterialien, was auch den erzielten Werten entspricht.

3. Zur Verwendung der Muffelgröße läßt sich keine einheitliche Aussage tätigen, obwohl bei einigen Einbettmassen bestimmte Muffelgrößen bessere Ergebnisse erreichten. Diese variierten jedoch von Fall zu Fall sehr stark und waren zudem von anderen Parametern abhängig.
Zudem sollte die Bedeutung der Muffelgröße im Zusammenhang mit größeren prothetischen Restaurationen noch eingehender untersucht werden.

4. Einbettmassen für den zahntechnischen Präzisionsguß haben neben einer Reproduzierung der Oberflächenmorphologie des Wachsmodelles vor allem die Aufgabe, die Schwindung der Legierung zu kompensieren. Dies muß jedoch im Rahmen der geforderten Toleranzen erfolgen. Das Schwindmaß von Legierungen läßt sich aus einer Extrapolation des thermischen Ausdehnungskoeffizienten von der Solidustemperatur bis zur Raumtemperatur ermitteln und beträgt je nach Legierung 1,5 - 1,8 % linear. Um diesen Betrag müßte die Einbettmasse expandieren. Diese Expansion läuft über zwei Stufen: die Abbindeexpansion und die thermische Expansion. Die Summe beider ergibt die Gesamtexpansion.

Alle verwendeten Einbettmassen wurden nach Angaben des Herstellers angemischt.

Hinsichtlich der technischen Bewertung einer Einbettmasse ist die Reproduzierbarkeit der Gußkörper von großer Wichtigkeit. Obwohl die größten Prüfkörper jene aus Wachs, Tiefziehfolie/hygrothermisch in Einbettmasse Deguvest HFG und High-Span waren, läßt die große Meßwertstreubreite innerhalb der einzelnen Prüfkörperserien keine einheitliche Aussage über die Reproduzierbarkeit zu.

Zudem weiß man aus Erfahrung (22), daß für das Expansionsverhalten der Einbettmassen deren Lagerungszeit vor der Verwendung von Bedeutung ist. Darüber hinaus bestehen auch Unterschiede von Charge zu Charge, die sicher mittels

einer verstärkten Qualitätskontrolle und einer Standardisierung durch die Herstellerfirmen weitgehend ausgemerzt werden könnten.

Diese vorgenannten unvermeidbaren Einflüsse sind sicherlich ein Faktor für die teilweise große Streuung der Meßwerte. Rema-Exakt ist eine Einbettmasse, die im zahntechnischen Bereich normalerweise für hochschmelzende Metalle - ähnlich NEM-Legierung - verwandt wird. Es konnte also gerade für diesen Versuch mit Wiron 77 eine hohe Paßgenauigkeit erwartet werden. Erstaunlicherweise zeigt die Optimierungstabelle, daß fast alle Meßwerte für diese Prüfkörperserien am schlechtesten liegen. Zwar sind keine so großen Schwankungsbreiten wie bei Deguvest HFG und High-Span festzustellen, jedoch zeigt der Meßwertspiegel so starke Übergrößen, daß dieses Material in der hier angewendeten Art auf keinen Fall Verwendung bei der Kronen- und Brückenherstellung finden sollte.

Mit BegoRal sind durch alle Versuchsreihen hindurch relativ einheitliche Meßergebnisse erzielt worden, auch die Standardabweichungen weisen geringe Beträge auf, was für den Techniker eine problemlosere Handhabung bedeutet. Die geringfügigen Untergrößen sprechen für eine zu starke Einschränkung der Gesamtexpansion. Dies könnte durch eine stärkere Vliesstreifeneinlage ausgeglichen werden.

V Zusammenfassung und Ausblick

Die wichtigsten Forderungen, die in der modernen Zahntechnik an ein gegossenes Werkstück gestellt werden, sind die Paßgenauigkeit und Fehlerfreiheit des Gusses. Hierzu bedarf es einer Reihe von Werkstoffen mit spezifischen Eigenschaften. Modellmaterialien wie Hartgipse und Wachse sowie Kunststoffe dürfen während der Verarbeitung nur geringen Dimensionsänderungen unterliegen. Die Schwindung des Gußobjektes beim Abkühlen sollte durch die Gesamtexpansion von Einbettmassen kompensiert werden.

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluß verschiedener Parameter (Modelliermaterial, Abbindeverfahren, Muffelgröße, Einbettmasse) auf die klinische Paßgenauigkeit von Kronen, die mit einer Nichtedelmetallegierung (Wiron 77) hergestellt wurden, zu untersuchen.

Verwendet wurden vier phosphatgebundene Einbettmassen: BegoRal, Deguvest HFG, High-Span, Rema-Exakt und jeweils drei verschiedene Modelliermaterialien: Kunststoff, Tiefziehfolie und Wachs.

Die einzelnen Versuchsreihen wurden sowohl der hygrothermischen als auch einer Abbindung unter Raumbedingungen unterzogen. Die Prüfkörperserien wurden jeweils in Muffeln der Größe 3/6 eingebettet.

Die auf standardisierten Stümpfen hergestellten Prüfkörper wurden anschließend lichtoptisch, mit einer Genauigkeit von 0,001 mm gemessen. Um signifikante statistische Differenzen der Parameter aufzuzeigen, wurde eine Varianzanalyse erstellt.

Als Ergebnis der vorliegenden Arbeit können folgende Punkte festgehalten werden:

1. Es ergaben sich bis auf wenige Ausnahmen kleinere Gußobjekte statt erwartungsgemäß größere. Grundsätzlich wiesen jedoch die im hygrothermischen Abbindeverfahren hergestellten Prüfkörperserien größere Durchmesser auf, so daß bei der Verwendung edelmetallfreier Legierungen Übergrößen zu erzielen sind.

2. Die aus Wachs hergestellten Prüfkörper ergaben eindeutig bessere Ergebnisse. Dabei ist die große Streuung der Einzelwerte kritisch zu werten, da dieser Faktor gegen eine gute Reproduzierbarkeit der Werte spricht.

3. Eine Aussage über die Muffelgröße ließ sich aufgrund der großen Diskrepanzen nicht tätigen.

In Zukunft sollten Art und Form der Ummantelung von Einbettmassen und deren Auswirkungen auf die Expansion eingehender untersucht werden.
Im einzelnen ist dabei der Einfluß der Muffelform (bisher rund) auf geometrisch komplexe prothetische Restaurationen abzuklären.
Auch könnten Verfahren der Umhüllung von Einbettmassen mit Papier und Wachsmanschetten dazu dienen, vermehrt oder auch stärkere Übergrößen zu produzieren.
Zudem sollte die für den Zahnarzt und Zahntechniker unzumutbare Streubreite bei den Expansionswerten heutiger Einbettmassen (sogar innerhalb eines Fabrikates), die selbst bei Restaurationen mit sich ähnelndem Umfang und mit sich ähnelnder Geometrie eine reproduzierbare Paßform wohl schwerlich zulassen, die Industrie veranlassen, die Rohstoffparameter wie z. B. Partikelgröße, Partikelverteilung und Partikelstruktur zu definieren und somit die Standardisierung entscheidend voranzutreiben.

VI Literaturverzeichnis

(1) AMERICAN DENTAL ASSOCIATION
Biological effects of nickel-containing dental alloys
J. Amer. dent. Ass., Vol. 104, 501 (1982)

(2) ANSKE, U.:
Zitat nach BEECK, K.H.:
"Gußverfahren und ihre praktische Auswertung"
Dtsch. zahnärztl. Z., 13, 470 (1958)

(3) BAUER, R.:
Survey on the use of casting alloys in commercial dental laboratories
J. Nat. Assoc. dent. Lab., Vol. 24, 7, Part I (1977)

(4) BAUER, R.:
Survey on the use of casting alloys in commercial dental laboratories
J. Nat. Assoc. dent. Lab., Vol. 24, 8, Part II (1977)

(5) BEECK, K.H.:
"Gußverfahren und ihre praktische Auswertung"
Dtsch. zahnärztl. Z., 13, 470 (1958)

(6) DREYER-JÖRGENSEN, K.:
Investigations on dental precision casting technique
Odontol. T., 12, 233 (1954)

(7) EDEN, G.T.:
Fit of porcelain fused-to-metal crown and bridge castings
J. dent. Res., 58, 2360 (1979)

(8) EICHNER, K.:
Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung
Band 1, Grundlagen und Verarbeitung (1981)

(9) FUSAYAMA, T.:
Factors and technique of precision casting
Part I
J. prosth. Dent., Vol. 9, 468 (1959)

(10) FUSAYAMA, T.:
Technical procedure of precision casting
J. prosth. Dent., Vol. 9, 1037 (1959)

(11) GERLACH, H.P.:
Thermo-volumetrische Untersuchungen an Einbettmassen im zahnärztlichen Gußverfahren
Leipzig (1935)

(12) HEHRING, H.:
Die prozentualen linearen Veränderungen eines Palliaggusses in Abhängigkeit von verschiedenen Einbettungsmethoden
Med. Diss. Berlin (1955)

(13) JONES, D.W.; WILSON, H.J.:
Setting and hygroscopic expansion of investments
Brit. dent. J., 7 (1970)

(14) KRÄUTLE, L.:
Die Auswirkung der Abbindeexpansion von Einbettmassen auf die Wachsmodelle
Med. dent. Diss. Berlin (1960)

(15) MAHLER, D.B.; ADY, A.B.:
The influence of various factors on the effective setting expansion of casting investments
J. prosth. Dent., 13, 365 (1963)

(16) MOFFA, P.J.; GUCKES, A.D.; OKAWA, M.T.; LILLY, G.E.:
An evaluation of nonprecious alloys for use with porcelain veneers.
Industrial safety and biocompatibility Part II
J. prosth. Dent., 30/4, 432 (1973)

(17) MOFFA, P.J.:
Biological effects of commercial Ni-Cr dental casting alloys
IADR Abstr., 452 (1975)

(18) MUMFORD, G.M.; PHILLIPS, R.W.:
Measurements of thermal expansion of Cristobalite type investments in the inlay ring-preliminary report
J. prosth. Dent., 8, 860 (1958)

(19) PAULSSEN, W.; WEBER, H.; SAUER, K.H.:
In vivo corrosion studies on nonprecious alloys
J. dent. Res., Vol. 62
IADR-CED Abstr. 2
Münster (1982)

(20) PHILLIPS, R.W.:
Skinners science of dental materials
W.B. Saunders Company Philadelphia and London
(1973)

(21) REITHER, W.; STECK, W.:
Neue Untersuchungen über die Abbindeexpansion
verschiedener Einbettmassen
Dtsch. zahnärztl. Z., 22, 1235 (1967)

(22) SAUER, G.:
Vergleichende Untersuchungen über die Abbinde-
expansion von Einbettmassen
Dtsch. zahnärztl. Z., 38, 227 (1983)

(23) SCHEU, C.H.:
A new precision casting technique
J. Amer. dent. Ass., 19, 630 (1932)

(24) SKINNER, E.W.:
The science of dental materials
W.B. Saunders Company Philadelphia and London
(1954)

15. BAGGARD, W.H.:
A new and accurate method of making gold inlays
...

16. WEBER, H.:
Clinical acceptance of dental Ni-Cr-alloys
Int. Dent. J., Vol. 33, No. 1, 3 (1983)

...
Dentallegierungen mit hohem Goldanteil, mit
... auf edelmetallfreier
... Basis, zur intermediären
...

18. WEBER, H.:
Die Goldlegierung - ein unverzichtbares Mate-
rial
Zahnärztl. Mitt. 6, Sonderdruck (1981)

...
... Laborarbeiten zu den Kronen-
...
Z. Prakt. zahnärztl. Lit., 10, 718 (1982)

Tabelle 2: Mittelwert und Standardabweichung (in °/₀₀)

Einbettmasse BegoRal				Mittelwert	Standardabweichung
1	Ku-stoff	hygro. A.	Muff. 3	- 4,107	- 3,899
2	Ku-stoff	norm. A.	Muff. 3	- 5,641	- 2,145
3	Ku-stoff	hygro. A.	Muff. 6	- 9,731	- 2,732
4	Ku-stoff	norm. A.	Muff. 6	- 5,409	- 2,182
5	Tief-Wachs	hygro. A.	Muff. 3	- 5,791	- 2,892
6	Tief-Wachs	norm. A.	Muff. 3	- 6,412	- 3,429
7	Tief-Wachs	hygro. A.	Muff. 6	- 4,467	- 5,521
8	Tief-Wachs	norm. A.	Muff. 6	- 8,608	- 2,701
9	Wachs	hygro. A.	Muff. 3	- 2,606	- 5,148
10	Wachs	norm. A.	Muff. 3	- 9,228	- 4,444
11	Wachs	hygro. A.	Muff. 6	- 1,726	- 3,329
12	Wachs	norm. A.	Muff. 6	- 5,448	- 4,318

Einbettmasse Deguvest HFG				Mittelwert	Standardabweichung
13	Ku-stoff	hygro. A.	Muff. 3	- 2,003	- 3,007
14	Ku-stoff	norm. A.	Muff. 3	- 4,014	- 3,763
15	Ku-stoff	hygro. A.	Muff. 6	- 13,377	- 4,327
16	Ku-stoff	norm. A.	Muff. 6	- 12,413	- 3,558
17	Tief-Wachs	hygro. A.	Muff. 3	+ 6,286	- 5,623
18	Tief-Wachs	norm. A.	Muff. 3	+ 1,726	- 5,763
19	Tief-Wachs	hygro. A.	Muff. 6	+ 0,938	- 1,456
20	Tief-Wachs	norm. A.	Muff. 6	- 1,726	- 6,971
21	Wachs	hygro. A.	Muff. 3	+ 8,842	- 5,741
22	Wachs	norm. A.	Muff. 3	- 1,961	- 3,456
23	Wachs	hygro. A.	Muff. 6	+ 9,982	- 9,360
24	Wachs	norm. A.	Muff. 6	+ 1,332	- 4,318

Einbettmasse High-Span				Mittelwert	Standardabweichung
25	Ku-stoff	hygro. A.	Muff. 3	- 11,759	- 1,643
26	Ku-stoff	norm. A.	Muff. 3	- 7,841	- 2,371
27	Ku-stoff	hygro. A.	Muff. 6	- 7,337	- 1,848
28	Ku-stoff	norm. A.	Muff. 6	- 12,128	- 1,989
29	Tief-Wachs	hygro. A.	Muff. 3	+ 7,359	- 4,018
30	Tief-Wachs	norm. A.	Muff. 3	- 0,737	- 3,831
31	Tief-Wachs	hygro. A.	Muff. 6	- 4,903	- 4,727
32	Tief-Wachs	norm. A.	Muff. 6	- 1,961	- 4,091
33	Wachs	hygro. A.	Muff. 3	+ 3,394	- 2,453
34	Wachs	norm. A.	Muff. 3	+ 5,481	- 3,860
35	Wachs	hygro. A.	Muff. 6	+ 0,058	- 2,995
36	Wachs	norm. A.	Muff. 6	- 0,318	- 3,019

Tabelle 3: Einzelmessung der Prüfkörper (in mm)

Prüfkörper Nr.	Klassifizierung	Messung 1	Messung 2
1		9,8100	9,8250
2		9,9000	9,8720
3	B-W-3-N	9,8900	9,9310
4		9,7940	9,7900
5		9,8300	9,8930
6		9,8190	9,8490
7		9,9410	9,9290
8		9,9530	9,9500
9	B-W-3-H	9,8940	9,9290
10		9,9710	9,9900
11		9,9040	9,8540
12		9,8580	9,8200
13		9,8750	9,8590
14		9,8940	9,8510
15	B-W-6-N	9,9180	9,9200
16		9,8720	9,8940
17		9,9590	9,9490
18		9,8170	9,8460
19		9,9050	9,9350
20		9,9400	9,9150
21	B-W-6-H	9,9970	9,9250
22		9,9830	9,9440
23		9,9100	9,8700
24		9,8720	9,9020
25		9,9170	9,8610
26		9,9200	9,8670
27	B-K-3-N	9,8750	9,9180
28		9,8610	9,8750
29		9,9250	9,9030
30		9,8260	9,8830
31		9,9250	9,9270
32		9,9200	9,9160
33	B-K-3-H	9,8740	9,8500
34		9,8840	9,8610
35		9,8610	9,8790
36		9,9750	9,9420

Prüfkörper Nr.	Klassifizierung	Messung 1	Messung 2
37		9,8670	9,8740
38		9,9050	9,9350
39	B-K-6-N	9,8890	9,8630
40		9,8840	9,8760
41		9,8860	9,9040
42		9,8630	9,8530
43		9,8380	9,8120
44		9,8560	9,8280
45	B-K-6-H	9,8230	9,8500
46		9,9020	9,8940
47		9,8250	9,8650
48		9,8380	9,8120
49		9,8740	9,8420
50		9,9280	9,9600
51	B-T-3-N	9,8600	9,9130
52		9,8420	9,8680
53		9,8770	9,8460
54		9,8700	9,8590
55		9,9060	9,9240
56		9,8820	9,8740
57	B-T-3-H	9,8950	9,8920
58		9,8370	9,8270
59		9,8840	9,8870
60		9,8910	9,9140
61		9,8630	9,8240
62		9,8120	9,8580
63	B-T-6-N	9,8250	9,8650
64		9,8820	9,9290
65		9,8390	9,9000
66		9,8510	9,8290
67		9,9930	9,9690
68		9,8710	9,8590
69	B-T-6-H	9,9700	9,8780
70		9,8800	9,9120
71		9,8860	9,9170
72		9,8290	9,8070

Prüfkörper Nr.	Klassifizierung	Messung 1	Messung 2
1		9,9310	9,9380
2		9,9700	9,9410
3	D-W-3-N	9,8830	9,8820
4		9,9690	9,9630
5		9,9040	9,8900
6		9,8960	9,9030
7		10,1020	10,1120
8		10,0250	10,0660
9	D-W-3-H	10,0530	10,0210
10		10,0060	10,0010
11		9,9320	9,9390
12		10,0380	10,0640
13		9,9490	9,9600
14		9,8930	9,9000
15	D-W-6-N	9,9780	9,9950
16		9,9880	9,9290
17		9,9190	9,9220
18		10,0180	10,0120
19		10,0710	10,0790
20		9,9910	9,9720
21	D-W-6-H	9,9010	9,9470
22		10,0600	10,0600
23		10,1960	10,1940
24		10,0780	9,9460
25		9,9110	9,9210
26		9,9480	9,9550
27	D-K-3-N	9,9120	9,9030
28		9,8680	9,8780
29		9,9330	9,9050
30		9,8560	9,8350
31		9,9390	9,9120
32		9,8990	9,9040
33	D-K-3-H	9,9090	9,8990
34		9,8840	9,8910
35		9,9610	9,9470
36		9,9660	9,9550

Prüfkörper Nr.	Klassifizierung	Messung 1	Messung 2
37		9,7700	9,8200
38		9,8530	9,7990
39	D-K-6-N	9,8420	9,8650
40		9,8230	9,8230
41		9,7800	9,7480
42		9,8450	9,8460
43		9,8200	9,8460
44		9,8000	9,8000
45	D-K-6-H	9,7170	9,7440
46		9,8650	9,8390
47		9,8200	9,7910
48		9,8350	9,8310
49		9,9100	9,9930
50		10,0000	10,0470
51	D-T-3-N	9,9230	9,9180
52		9,8600	9,9070
53		9,9550	9,9410
54		10,0110	10,0470
55		10,0340	10,0750
56		10,0770	10,0460
57	D-T-3-H	10,0260	10,0050
58		9,9020	9,9130
59		9,9860	9,9860
60		10,0080	9,9960
61		9,8870	9,8650
62		9,9760	9,8980
63	D-T-6-N	9,9540	9,9170
64		9,9080	9,9210
65		10,0540	10,0350
66		9,8410	9,8420
67		9,9320	9,9860
68		9,9850	9,9660
69	D-T-6-H	9,9240	9,9420
70		9,9830	9,9120
71		9,9380	9,9590
72		9,9340	9,9550

Prüfkörper Nr.	Klassifizierung	Messung 1	Messung 2
1		10,0610	10,0390
2		10,0420	10,0410
3	H-W-3-N	9,9900	9,9650
4		9,9660	9,9690
5		9,9690	9,9740
6		9,9660	9,9760
7		9,9790	9,9730
8		10,0000	9,9940
9	H-W-3-H	9,9910	9,9970
10		9,9350	9,9250
11		9,9880	9,9820
12		9,9880	9,9570
13		9,9020	9,9800
14		9,8760	9,9570
15	H-W-6-N	9,8570	9,9780
16		10,0010	9,9930
17		9,9550	9,8990
18		9,9500	9,9180
19		9,9080	9,9220
20		9,9540	9,9320
21	H-W-6-H	9,9310	9,8740
22		9,9690	9,9860
23		9,9690	9,9740
24		9,9490	9,9430
25		9,8520	9,8310
26		9,8680	9,8360
27	H-K-3-N	9,9040	9,8760
28		9,8040	9,8480
29		9,8810	9,8600
30		9,8640	9,8850
31		9,8350	9,8300
32		9,8470	9,8400
33	H-K-3-H	9,8340	9,8340
34		9,8160	9,8010
35		9,8030	9,8000
36		9,8300	9,8310

Prüfkörper Nr.	Klassifizierung	Messung 1	Messung 2
37		9,7970	9,8160
38		9,7980	9,8040
39	H-K-6-N	9,8500	9,8440
40		9,8020	9,8120
41		9,8350	9,8500
42		9,8280	9,8210
43		9,8020	9,8640
44		9,8420	9,8880
45	H-K-6-H	9,8610	9,8810
46		9,8470	9,8720
47		9,9110	9,8680
48		9,8830	9,8500
49		9,8710	9,8880
50		9,8520	9,9890
51	H-T-3-N	9,9270	9,9530
52		9,9290	9,9070
53		10,0030	9,9770
54		9,9280	9,9920
55		9,9900	10,0770
56		9,8540	10,0250
57	H-T-3-H	10,0710	10,0400
58		10,0480	10,0070
59		10,0370	10,0140
60		10,0050	10,0140
61		9,9650	9,9850
62		9,9440	9,9410
63	H-T-6-N	9,9530	9,9130
64		9,8800	9,8280
65		9,9300	9,8800
66		9,9490	9,9020
67		9,8990	9,9040
68		9,9320	9,9340
69	H-T-6-H	9,9210	9,9990
70		9,8430	9,8320
71		9,8680	9,8460
72		9,8500	9,8910

Prüfkörper Nr.	Klassifizierung	Messung 1	Messung 2
1		9,7210	9,2760
2		9,6840	9,6930
3	R-W-3-N	9,8140	9,8060
4		9,7700	9,7510
5		9,8100	9,8070
6		9,7780	9,8010
7		9,7100	9,7570
8		9,7690	9,7860
9	R-W-3-H	9,8170	9,8210
10		9,8120	9,7840
11		9,8040	9,7750
12		9,7500	9,7530
13		9,7010	9,7030
14		9,7650	9,8150
15	R-W-6-N	9,7840	9,7710
16		9,7200	9,7040
17		9,6600	9,6790
18		9,7360	9,7800
19		9,6310	9,6390
20		9,6360	9,6090
21	R-W-6-H	9,7510	9,7470
22		9,8140	9,7800
23		9,7550	9,7560
24		9,6350	9,6620
25		9,7430	9,7310
26		9,7280	9,7540
27	R-K-3-N	9,7530	9,7500
28		9,7680	9,7610
29		9,7970	9,8210
30		9,8420	9,7890
31		9,7610	9,7340
32		9,8070	9,8020
33	R-K-3-H	9,8070	9,7810
34		9,8050	9,7650
35		9,7390	9,7690
36		9,7510	9,8600

Prüfkörper Nr.	Klassifizierung	Messung 1	Messung 2
37		9,7870	9,7470
38		9,8090	9,7980
39	R-K-6-N	9,7480	9,8020
40		9,8100	9,8160
41		9,8100	9,8080
42		9,7810	9,8070
43		9,8290	9,8420
44		9,8080	9,7770
45	R-K-6-H	9,8030	9,8470
46		9,8040	9,8210
47		9,8040	9,8220
48		9,8430	9,8240
49		9,7630	9,8050
50		9,8190	9,7890
51	R-T-3-N	9,7530	9,8430
52		9,7490	9,8210
53		9,7390	9,7640
54		9,7670	9,8110
55		9,8190	9,8080
56		9,8070	9,8090
57	R-T-3-H	9,8480	9,8110
58		9,8400	9,8070
59		9,8000	9,7290
60		9,9060	9,9200
61		9,8620	9,8680
62		9,8420	9,8580
63	R-T-6-N	9,8230	9,8150
64		9,8390	9,8340
65		9,8480	9,9130
66		9,8320	9,8300
67		9,9010	9,8920
68		9,8370	9,8120
69	R-T-6-H	9,8330	9,8730
70		9,8800	9,9040
71		9,8580	9,8090
72		9,7530	9,7880

Herrn Prof. Dr. Hermann Böttger danken wir für die Überlassung des Themas und die hilfreiche Beratung und Unterstützung.

Ebenso bedanken wir uns bei Herrn Prof. Dr. H. Weber, vormals Universität Düsseldorf, jetzt Universität Tübingen, für seine stets hilfreiche Betreuung.

Unser weiterer Dank gilt den Herren Dr. Willers vom Rechenzentrum der Universität Düsseldorf und Dr. Wischgoll vom Physikalischen Institut I der Universität Düsseldorf, ohne deren Entgegenkommen die Versuche und Berechnungen nicht möglich gewesen wären.

Lebenslauf

Am 22. Februar 1953 wurde ich, Peter Aniol, in Lünen, Kreis Unna, als zweites Kind des Zahntechnikers Alfred Aniol und seiner Ehefrau Agnes, geb. Pieper, geboren.

Von Ostern 1959 an besuchte ich die katholische Volksschule in Selm, Kreis Unna.

Ab April 1964 bis zu meinem Abitur am 15. Mai 1972 besuchte ich das Gymnasium Canisianum in Lüdinghausen, Kreis Coesfeld.

Zum Wintersemester 1976/77 erhielt ich meine Zulassung zum Zahnmedizin-Studium an der Universität Düsseldorf. Hier legte ich im Juli 1977 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im Frühjahr 1979 die zahnärztliche Vorprüfung ab.

Am 2. November 1981 bestand ich das Staatsexamen und erhielt die Bestallung als Zahnarzt.

Sofort anschließend übte ich bis März 1983 eine Assistententätigkeit in der prothetischen Abteilung der Westdeutschen Kieferklinik der Universität Düsseldorf aus.

Seit dem 1. April 1983 bin ich ebenfalls als Assistenzzahnarzt in der Abteilung Prothetik II des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen beschäftigt.